



## SEQUÍA E INUNDACIÓN EN LA HIPERLLANURA PAMPEANA. UNA MIRADA DESDE EL LOTE AL MUNICIPIO

J.L. Mercou<sup>1\*</sup>; E.G. Jobbagy<sup>1-2-3</sup>; E. Viglizzo<sup>2-4</sup>; A. Menendez<sup>5-6</sup>; C. Di Bella<sup>2-7</sup>; F. Bert<sup>2-8</sup>;  
S. Portela<sup>9</sup>; E. Figueroa Schiebber<sup>7</sup>; E. Florio<sup>1</sup>; R. Gimenez<sup>1</sup>; P. García<sup>6</sup> y F. Murray<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios Ambientales, IMASL; <sup>2</sup>CONICET; <sup>3</sup>Universidad Nacional de San Luis; <sup>4</sup>INTA EEA Anguil, Universidad Nacional de La Pampa; <sup>5</sup>Instituto Nacional del Agua; <sup>6</sup>Departamento de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires;

<sup>7</sup>Instituto de Clima y Agua, CIRN-INTA; <sup>8</sup>Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires; <sup>9</sup>INTA EEA Pergamino.

\*Grupo de Estudios Ambientales, IMASL - Universidad Nacional de San Luis y CONICET. Av. Ejército de los Andes 950, (5700) San Luis, Argentina. jorgemercou@gmail.com

### NOTA

Recibido: 30-11-12

Aceptado 07-05-13

### INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana la lluvia, y su elevada variabilidad, es la principal determinante de la producción agropecuaria (Hall *et al.*, 1992) que motoriza la economía de muchos municipios. En los sistemas de producción pampeanos, en los que el riego es aún una práctica poco común, la escasez de lluvias resiente a la producción y propaga sus efectos en el tiempo y en la comunidad a partir de los daños económicos que genera. En el otro extremo, las lluvias excesivas desencadenan procesos de anegamiento e inundación capaces de generar daños de magnitud similar a los de la sequía. En paisajes extremadamente planos o de "hiperllanura" (Jobbagy *et al.*, 2008), como son los de la Pampa Deprimida e Interior, el escurrimiento lento y dificultoso lleva a que los excesos hídricos se almacenen localmente, elevando los niveles freáticos e incrementando el área ocupada por agua en las zonas más bajas del paisaje. Las inundaciones resultantes son de avance gradual y sostenido y pueden durar muchos meses, generando pérdidas productivas y daños en la infraestructura de áreas rurales y urbanas.

En el Oeste Pampeano y en gran parte de la cuenca del Río Salado las fluctuaciones del nivel de la napa freática están estrechamente conectadas al balance hídrico local y con los cuerpos superficiales de agua (Aragón *et al.*, 2010; Badano, 2010). Los excesos hídricos son almacenados localmente en lagunas o en la napa freática, que lentamente sube de nivel. Las napas cercanas a la superficie aumentan fuertemente el rendimiento de los cultivos, especialmente en años secos (Nosetto *et al.*, 2009), representando una vía de transferencia de agua de años de exceso a años de déficit (Jobbagy *et al.*, 2008). Sin embargo, una vez que la napa supera un umbral de cercanía a la superficie el rendimiento cae abruptamente (Nosetto *et al.*, 2009) y, a nivel de paisaje, el área ocupada por cuerpos de agua se expande con mucha rapidez, las lagunas comienzan a coalescer y en casos extremos se disparan inundaciones regionales (Aragón *et al.*, 2010). Como el drenaje superficial natural y/o artificial de los excedentes tiene un alcance limitado en la región (Badano, 2010), cobra gran importancia el control de la recarga para evitar llegar a ese umbral crítico en el que aumenta el riesgo de inundación. Existen evidencias de que el reemplazo de pasturas perennes por cultivos ha aumentado la recarga (Nosetto *et al.*, 2012), especialmente cuando luego de algunos años secos se siembran campos bajos que luego, en años húmedos, quedan sin sembrar o pierden sus cultivos tempranamente. Al margen del riesgo de inundación, los productores también se beneficiarían si logran disminuir los excedentes hídricos. Aumentar la transpiración vegetal es una de las avenidas más

potentes para lograr mayor productividad del agua limitando otras vías de pérdidas del sistema (Passioura, 2006), como el drenaje profundo o la evaporación desde grandes cuerpos de agua durante una inundación. Por eso, aunque pueden existir conflictos entre distintos usos de la tierra y los intereses de los municipios, también es claro que puede haber oportunidades para un beneficio mutuo.

Lograr un uso más inteligente y justo del territorio requiere del conocimiento de los beneficios y riesgos que enfrentan sus múltiples usuarios y las alternativas disponibles. Frente al rol dual del agua en la Hiperllanura Pampeana, es valioso adaptar las estrategias de uso de la tierra para minimizar riesgos y daños maximizando la producción y el desarrollo económico. Para dar este paso surge una necesidad previa que es la de comprender la percepción que distintos actores del territorio tienen respecto a estas fluctuaciones ecohidrológicas. Con ese objetivo, realizamos un taller de discusión en la localidad de América, guiados por las siguientes preguntas: ¿en qué medida difieren los efectos, productivos y económicos, de la sequía y la inundación? ¿Cómo afectan estas perturbaciones a distintos productores y a todo un municipio? ¿Cuáles son sus opciones y respuestas más comunes? Este trabajo presenta los hallazgos más sobresalientes.

#### ANTECEDENTES Y ACTIVIDADES DEL TALLER

El municipio de Rivadavia se inserta en un paisaje extremadamente llano dominado originalmente por pastizales. Sus primeros pueblos, con predominio de chacareros, se crean al comenzar el siglo XX. El municipio se caracterizó por su ganadería, siendo la capital nacional de la Invernada, en sistemas mixtos con agricultura hasta fines de los '80. Desde entonces, comenzó un fuerte proceso de agriculturización que llevó hoy a un paisaje dominado por cultivos anuales, principalmente soja, maíz y trigo, con algunos campos dedicados al tambo y otros a la invernada, con una fuerte participación de *feedlots* (sistema de engorde a corral) chicos y grandes.

La historia de América, ciudad principal del partido de Rivadavia, ha estado sujeta a eventos de sequías desde sus orígenes y por alternancias de sequías en inundaciones en los últimos 40 años (Municipalidad de Rivadavia, 2010). Las sequías más graves se registraron en 1989, 1995 y 2008, y las inundaciones más extremas en 1979, 1986 y 2001. En 2001, el agua amenazó la localidad cabecera del partido, que fue defendida por todos sus vecinos. En la campaña 2011/2012 se pasó de una sequía importante desde noviembre a enero, a una inundación en algunos sectores del partido entre enero y mayo, situación que se siguió agravando en la primavera de 2012.

El taller forma parte del proyecto "Flatness, Flooding and Farming (F<sup>3</sup>): Adapting to climatic and hydrological changes in the plains of Argentina and Paraguay" financiado por el IDRC (International Development Research Center). Desde el comienzo contó con el apoyo de la Municipalidad de Rivadavia, que fue una de las instituciones convocantes y facilitó las instalaciones para la realización del evento el día 5 de julio de 2012. La jornada se dividió en dos: por la mañana se realizaron presentaciones disparadoras del intercambio, con la participación de cerca de 80 personas; y por la tarde un taller de trabajo en grupos, del cual participaron 40 personas. Entre los presentes en ambas actividades se encontraban el Intendente del partido, 3 secretarios de Gobierno y otros miembros del equipo, 8 asesores y ex asesores de grupos de productores CREA de la región, varios productores referentes, investigadores del INTA Anguil, INTA Villegas, INTA Pergamino e INTA Castelar, investigadores del CONICET, INA y las Facultades de Agronomía e Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires y miembros del Grupo de Estudios Ambientales (CONICET, Universidad Nacional de San Luis).

El evento fue decretado de interés municipal por el Honorable Consejo Deliberante de Rivadavia y contó con la participación de medios periodísticos regionales.

En la mañana se realizaron seis exposiciones para poner en común algunos aspectos del conocimiento del sistema previo a la reunión (las presentaciones y sus audios están disponibles en el sitio F<sup>3</sup> en <http://www.agrohiddrollanuras.unsl.edu.ar>). En su disertación el Intendente del Municipio, Sergio Buil, presentó como la comunidad de Rivadavia enfrentó las inundaciones y como la Municipalidad se involucra en el problema. Daniel Trasmonte, asesor del grupo CREA América, presentó como las empresas agropecuarias han procesado los impactos de la variabilidad climática en sus planteos y como incorporan al agua en sus decisiones. Ernesto Viglizzo, investigador del CONICET e INTA Anquil, presentó una visión de las sequías e inundaciones en la región con una perspectiva histórica, haciendo explícitas algunos aspectos todavía inciertos del comportamiento del sistema. Ángel Menendez, investigador del INA y la Facultad de Ingeniería UBA, mostró como es la hidrología natural de la cuenca del Salado, dentro de la que se encuentra Rivadavia, y el impacto que tendrían las obras hidráulicas ejecutadas y planeadas y el que podría tener el manejo de la tierra. Desde el Grupo de Estudios Ambientales, Jorge Mercau presentó como las decisiones en un lote no sólo reducen el impacto de sequías e inundaciones sino que pueden estar dirigidas a modificar el riesgo de acuerdo a la oferta esperada de agua. Por último, Esteban Jobbágy, investigador del CONICET, director del GEA y coordinador general de este proyecto del IDRC, mostró como el agua tiene efectos duales que conectan campos y pueblos vecinos, lo que justifica un abordaje integral de esta problemática.

El taller por la tarde consistió en un trabajo en grupos focalizado en identificar los impactos de sequías e inundaciones, las acciones y opciones que se pueden tomar y los conflictos más importantes. Se armaron cuatro grupos, con unos 10 integrantes cada uno, procurando que todos tengan productores, asesores, miembros de la Municipalidad e investigadores. Parte del equipo de investigación tuvo a cargo tanto la coordinación y secretaría en cada mesa como la coordinación general. El trabajo se realizó con consignas de trabajo grupal, comunes a todos los grupos, y dos espacios de puesta en común, intercambio e integración. Las respuestas de cada grupo y las integraciones generales, así como las notas tomadas por los secretarios, se utilizaron para confeccionar un documento de síntesis con los puntos más relevantes del encuentro.

### **Progresos en la caracterización de los problemas y soluciones posibles y de los vacíos en el conocimiento**

La jornada y taller generó un intercambio intenso entre los distintos actores en el territorio. Los puntos más destacados se pueden integrar en: 1) asimetría de los efectos de inundación y sequía en la región; 2) las prioridades y agenda frente a la inundación; 3) el papel del uso de la tierra sobre la hidrología; 4) actores e impacto; 5) impactos sobre la Infraestructura y 6) generación de conocimiento.

#### **1. Asimetría de efectos de inundación y sequía en la región**

La sequía se percibe como un evento más negativo que la inundación, especialmente a escala municipal. La sequía representa un proceso gradual, generalizado, que impacta negativamente primero el ámbito rural y con algo de retraso el urbano. La inundación, si bien tiene condiciones predisponentes (niveles freáticos elevados), surge abruptamente y genera impactos ambiguos. En forma inmediata impacta focalmente sobre el ámbito urbano y la infraestructura vial, pero sólo eventos muy

graves afectan negativamente la producción del partido porque hay perjudicados pero también otros beneficiados.

Para la municipalidad la inundación genera inmediatamente un gasto para contener personas afectadas en los pueblos, reparar caminos y acomodar obras. En muchos casos también implica condonar impuestos municipales o desplazar su cobro. Sin embargo, el impacto es focalizado y sus consecuencias económicas a nivel de municipio desaparecen rápido. A la vez, en esta situación de lluvias abundantes muchos productores obtienen muy buenos resultados. Se sugirió que los impactos positivos de las inundaciones en general sobre-compensan a los negativos a escala de un año en un municipio. El impacto negativo de la inundación aumentaría cuando se desencadena en forma súbita y, aunque se reconocen “indicadores” (e.g. profundidad de napa) para anticiparla, se señaló que raramente se toman medidas preventivas.

La sequía parece resultar negativa para todos los actores, desde el productor al Municipio. La percepción fue que la sequía afecta de manera más directa, fuerte e inmediata al productor que al resto de los actores. Se reconocieron diferencias entre las producciones, en los sistemas agrícolas el impacto es en la campaña de la seca; en cambio, en los sistemas ganaderos el impacto puede repercutir en varios años. Una sequía generalizada no genera un impacto inmediato fuerte a nivel municipal. Si bien frente al problema algunos productores comienzan a hacer previsiones presupuestarias reduciendo costos, el impacto mayor se transfiere hasta el fin de la campaña. En ese momento se reduce fuertemente la demanda de trabajo para cosecha y transporte. Muchos de los que prestan esos servicios viven en el municipio. Los menores ingresos de los productores y quienes prestan servicios se traslada en una reducida actividad económica para el municipio en todo un año post cosecha. Un rubro indicador es la construcción, desde las reparaciones hasta nuevos proyectos. Por todo lo anteriormente nombrado el impacto de la seca es mayor que el que genera la inundación.

Cuando los efectos son generalizados, como en una sequía, el sector productivo genera una enorme demanda de financiamiento. Los proveedores de insumos saben que luego de un año así para conservar los clientes deben ofrecer financiación para la próxima campaña, y para re-financiar compromisos asumidos a cosecha. Este aspecto parece crítico para intervenir en la recuperación.

## **2. Prioridades y tiempos frente a la inundación**

Frente a un evento de inundación las prioridades de trabajo que surgieron en primer término son distintas según el origen de los actores. Para aquellos relacionados con la producción se mencionó prioritariamente mantener la misma (o minimizar impactos negativos) o la infraestructura (ej. mantener caminos para sacar la cosecha). Contrariamente, actores municipales como defensa civil priorizan salvaguardar la población y los servicios e infraestructura urbana, luego el resto de la infraestructura y finalmente la producción.

La escala de tiempo que se usa para interpretar los costos de estos eventos puede cambiar su signo. Esto es especialmente claro para los productores frente a los ciclos de inundación, cuyo efecto negativo inicial puede ser acompañado de efectos positivos en el mismo año y aún en años secos sucesivos, al ofrecer agua reservada en napas a los cultivos. En cambio, esto no sucede en el caso de los actores urbanos y de la infraestructura dañada tanto de campos como red vial y otras estructuras industriales y urbanas.

### 3. Papel del uso de la tierra sobre la hidrología

Hay aceptación general de que el uso de la tierra puede contribuir a regular el riesgo de anegamiento a nivel de lote pero no a nivel de áreas más grandes tales como el de Municipio. Entre las opciones para el nivel de predio se mencionaron cultivos tempranos, el uso de doble cultivos o cultivos de cobertura, y el mantenimiento de pasturas en áreas bajas. No obstante existe incertidumbre sobre la magnitud del impacto de las mismas y con anticipación se debe intervenir. Cuando se sube de escala organizacional hasta el municipio, si bien se visualiza como técnicamente viable estas intervenciones, la coordinación, implementación y gestión a nivel de todo un municipio resulta políticamente incierta. Algunos grupos plantearon mecanismos de retribución (e.g. pago de servicios) para mantener estos usos de la tierra alternativos o estabilizadores. Otros en cambio proponen que un mecanismo viable sería que todos los productores conozcan y sepan implementar estrategias que transformen el mayor riesgo de inundarse en una oportunidad para producir más y proponen sociabilizar ese conocimiento en el municipio.

Algo inverso parece suceder con el papel de los canales y obras. A escala del municipio y actores con fuerte inversión en infraestructura, estas obras son centrales para el manejo. En cambio para los productores su impacto es relativo. Se mencionó que este efecto es esperable porque en la hidrología de la región el efecto de la canalización actual tiene poco efecto en términos de área, pero un efecto central en términos del riesgo para una población.

### 4. Actores e impactos

Entre los actores productivos con mayor impacto se destacaron el tambo, la agricultura, los *feedlots* y en mucho menor medida la cría. Se sumaron los contratistas, prestadores de servicios y acopiadores. Hubo poca distinción respecto a los efectos sobre dueños vs. arrendatarios o de productores grandes vs. chicos. Sin embargo, se mencionó que en las áreas afectadas por una inundación los productores chicos sufren la pérdida de gran parte de su producción y tienen menos herramientas para amortiguar o recuperarse del evento. Finalmente se incluyeron los habitantes urbanos y su economía. Si bien el tema fue puesto a consideración, fue notable la ausencia de la conservación de hábitats naturales como un valor que pueda interesar especialmente a algún actor.

### 5. Impactos sobre infraestructura

El mantenimiento de la red vial ante eventos de inundación es mencionado como un aspecto sensible para garantizar la comunicación con los pueblos de la región y el movimiento de productos e insumos a los campos. Debido a su posición topográfica, a causa de procesos de erosión y de hundimiento del terreno, muchos de los caminos rurales se encuentran por debajo del nivel de los campos circundantes, se inundan fácilmente y pueden actuar como corredores de agua. En estas circunstancias es habitual el acuerdo transitorio entre campos vecinos para facilitar el paso a través de los mismos e incluso que se sedan terrenos a la municipalidad para construir caminos alternativos en la emergencia.

La magnitud del impacto de la inundación sobre los caminos rurales depende del momento y duración del evento, así como del actor social afectado. La comunicación, acceso a cobertura sanitaria y provisión de alimentos es una necesidad permanente para la población rural y de pequeños pueblos y tiene carácter prioritario para los organismos de prevención e instituciones públicas. También tambos y *feedlots* tienen fuerte dependencia de la infraestructura vial por el ingreso y salida casi diario

de gran cantidad de productos e insumos para su normal funcionamiento. En los tambos se agrega además la salida cotidiana del producto. La ganadería o agricultura extensiva tienen mayor margen de maniobra frente a la falta de acceso, si bien en algunos casos puede demorar la siembra, cosecha y movimiento de animales, reduciendo la eficiencia del sector.

Dentro de los predios, las inundaciones obligan a realizar infraestructura especial para evitar enfermedades y deterioro de productos almacenados. En tambos y *feedlots* es necesario mantener áreas secas como pisos elevados y dormideros, o corrales rotativos, para animales en confinamiento. A esto se suman las tareas necesarias para evitar el colapso de los sistemas de desagote de efluentes líquidos y desechos animales. En el caso de las plantas acopiadoras de grano, se utilizan pozos de bombeo para deprimir la napa bajo los silos, circulando el agua del predio mediante canales.

## 6. Generación de conocimiento

Los productores con los que se trabajó conocen la influencia del manejo de sus lotes sobre la hidrología y el valor de escenarios hidrológicos favorables (e.g. una napa a 2 m) o de minimizar impactos de escenarios desfavorables. Sin embargo, si bien reconocen que el manejo a escala de lote contribuye a definir la hidrología a escalas espaciales más grandes, mencionan la necesidad de entender mejor esas relaciones hidrología-sistemas productivos (e.g. como se mueve el agua, que impacto tiene lo que se haga en el lote/campo sobre escalas mayores, etc.). Finalmente, aunque pueda haber ideas generales de acciones individuales que pueden colectivamente impactar la hidrología (e.g. si todos hacen verdes la napa baja), es mucho menos claro como coordinar esas acciones para lograr cambios efectivos. Por ejemplo, se discutió la posibilidad de generar protocolos que sugieran los cultivos/manejos más adecuados ante una amenaza de inundación, pero se mencionó que los mismos no deberían ser obligatorios (i.e. no obligar a nadie a sembrar un determinado cultivo). En el mismo sentido se habló de recompensas/remuneraciones a quienes quieran/deban realizar ciertas acciones que aporten al bien común (e.g. “áreas de amortiguación”), pero de una manera muy vaga. Este punto, el “cómo hacerlo”, parece ser el gran desafío, más que el “qué hacer”.

Otro aspecto relevante que surgió del taller es que el conocimiento universitario en una ciudad como América está muy ligado a la cadena agropecuaria. Las empresas tienen profesionales en varias de las áreas, la gestión técnica, la económica y comercial. En conjunto son la mayor parte de los graduados universitarios que habitan la ciudad. Este balance en la distribución del conocimiento universitario contrasta con otros sitios del mundo, donde el sector agropecuario explica una parte mucho menor de los graduados en una ciudad, que se distribuyen en muchas más áreas de servicio y/o industria. La gestión municipal identificó esa fuente local de conocimiento y busca capturar algo a través de lo que puede definirse como una acción comunitaria. La idea es poder subsidiar con ese conocimiento las necesidades de otros productores del municipio y de otras áreas de la administración. Aunque todavía no hubo avances formales, sí hubo acciones que son coherentes con esa necesidad. La dirección de Producción y Ambiente de la municipalidad junto a varios productores y técnicos de América participaron de la elaboración de un manual de buenas prácticas para el uso de agroquímicos próximos a las localidades urbanas del municipio.

## CONCLUSIONES

La variabilidad de las lluvias genera sequías e inundaciones que perjudican a campos y municipios. A nivel municipal frente al riesgo de inundación se reconoce el efecto crítico de las obras hidráulicas



para defender ciudades y pueblos pero también su alcance limitado para evitar daños en la producción. Aún cuando persisten incertidumbres, a escala de un campo, el agua almacenada en el suelo y el nivel de la napa pueden ser usados para ajustar los sistemas de producción en el tiempo y en el espacio, permitiendo reducir los riesgos de sequías e inundaciones y aprovechar mejor las oportunidades. El gran desafío es idear formas de que las medidas de cambios en el uso de la tierra se propaguen a todo el territorio permitiendo moderar las consecuencias de años muy lluviosos, pero también muy secos, sobre un mayor número de productores y así también sobre el municipio.

Frente a la necesidad de innovar para resolver problemas en sistemas sociales complejos, conviene focalizar los esfuerzos en facilitar el trabajo en red y el aprendizaje conjunto, más que en transferir mensajes o tecnologías (Engel, 1995). La propagación diferencial desde el campo al municipio de la sequía y la inundación, por ejemplo, era difícil de prever desde una mirada externa al sistema. Tampoco resultaba claro con anterioridad al taller, que la sociabilización de un recurso asimétricamente distribuido en la comunidad, como el conocimiento universitario, pueda ser parte de la solución. La intensificación de espacios que permitan la interacción de los usuarios del territorio es una estrategia que puede facilitar su utilización más sensata.

### Agradecimientos

Agradecemos a la Municipalidad de Rivadavia, y especialmente su intendente, Sergio Buil, y secretario de Producción y Ambiente, Mauro Mercado, por ofrecer su apoyo, interés y experiencia en la ejecución del taller. El compromiso de productores y asesores de la zona, muchos de ellos pertenecientes a los grupos CREA, fue una pieza fundamental de esta actividad. También agradecemos la financiación del IDRC para este proyecto y la participación de Marco Rondón en el taller.

### BIBLIOGRAFÍA

- Aragón, R.; E.G. Jobbágy and E.F. Viglizzo. 2010. Surface and groundwater dynamics in the sedimentary plains of the Western Pampas (Argentina). *Ecohydrology*, 4: 433-447.
- Badano, N. 2010. Modelación hidrológica integrada en Grandes Cuencas de Baja Pendiente con Énfasis en la Evaluación de Inundaciones. Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Engel, P. 1995. Facilitating Innovation: An Action-Oriented Approach and Participatory Methodology to Improve Innovative Social Practice in Agriculture. Wageningen: WAU, Tesis Doctoral. 300 pgs.
- Hall, A.J.; C.M. Rebella; C.M. Ghera and J.P. Culot. 1992. Field-crop system of the Pampas. In: Pearson, C.J. (ed.), *Field Crop Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, pp. 413-450.
- Jobbágy, E.G.; M.D. Noretto; C. Santoni y G. Baldi. 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral – Sección Especial “Problemas Ambientales”*, 18: 305-322.
- Municipalidad de Rivadavia. 2010. Nacer, crecer y realizarnos. Rivadavia: 100 años de historia compartida. 44 pgs.
- Noretto, M.D.; E.G. Jobbágy; R.B. Jackson and G. Sznaider. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research*, 113: 138-148.
- Noretto M.D.; E.G. Jobbágy; A.B. Brizuela and R.B. Jackson. 2012. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 154: 2-11.
- Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce - from breeding to field management. *Agricultural and Water Management*, 80: 176-196.